



外装材の劣化を考慮した耐力評価に基づく建物強風災害リスクモデル-積雪寒冷地における木造住宅を対象として-

著者	今野 大輔
号	62
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第5527号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00125059

この だいすけ	
氏 名	今 野 大 輔
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成30年3月27日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	外装材の劣化を考慮した耐力評価に基づく建物強風災害リスクモデル -積雪寒冷地における木造住宅を対象として-
指 導 教 員	東北大学教授 植松 康
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 植松 康 東北大学教授 前田 匡樹 東北大学教授 五十子 幸樹 准教授 ガヴァンスキ 江梨 (大阪市立大学)

論 文 内 容 要 旨

本論文では、積雪寒冷地における木造住宅を対象として、経年劣化を考慮した「部材耐力」と、風洞実験等から得られる、強風災害時に実際に作用すると考えられる「風力」をベースとし、被害の進行過程を考慮した、木造住宅の被害率と風速の関係を示す強風災害リスク評価を開発することを目的としている。

第1章 序論

台風や竜巻等の強風災害時には、低層の木造住宅においても被害が生じている。被害形式の特徴としては、窓ガラスや屋根のような外装材の被害が顕著にみられ、そして、それらの被害がともに生じているケースが多いことから被害は連鎖的に生じていると考えられる。また、本論文で対象としている積雪寒冷地の木造住宅においては、積雪を考慮して雨戸が無いことや、屋根葺き材として軽量の金属葺きが用いられることなど、強風に対する配慮が他地域に比べて低いという地域の特徴がある。そのような建物の被害を低減させるには、建物の耐風性や作用する風力を定量的に評価し、強風災害のリスクを把握する必要があると考えられる。その手法として、確率統計を用いて建物被害を論じる強風リスク評価がある。個々の建物に対して適切なリスク評価を行うことは、その建物の安全性を明確にすることを可能とし、それに基づき持ち主が適切な修繕を行うことなどにより、強風災害時のリスクを最小限に留めることが出来ると考えられる。強風リスク評価を行う手順としては、実際の被害から被害率や被害曲線を求める方法がこれまで行われてきた。しかし、多くは個々の建物に対して詳細に検討を行ったものではなく、地域レベルのような大まかな範囲での評価に留まっているほか、被害が連鎖的に生じるという特徴を考慮してもいない。そういった背景から、最近では建物を構成する「外装材の耐力」と「想定される外力」をベースとしたリスク評価が試みられており、時系列的に各部材の耐力とその部位に作用する風力の比較を行うことで、被害の進行過程(被害のシナリオ)を考慮したリスク評価が可能となっている。しかし、現状において日本の住宅を構成する部材の耐力情報は非常に少なく、それらの既往研究に用いられている限定的な条件下

で求められた耐力値が多様な建物構成を持つ住宅に適用できるとは言い難い。また、実環境下における外装材の状況を考えると、日射や風雨に曝されていることから劣化が進行していると考えられるが、それらの影響は考慮されていない。以上の背景を踏まえ、本論文の研究目的は、「開口部破壊⇒内圧上昇⇒小屋組の破壊」というひとつの被害のシナリオに着目し、実物大実験や数値シミュレーションに基づいた汎用性のある部材耐力情報と、風洞実験に基づく強風災害時の破壊過程を考慮した風荷重情報をベースとした強風リスク評価モデルを開発し、そのリスク手法を用いて個々の建物条件に応じたリスクを提示する「耐風診断」の枠組を提案することである。

第2章 疲労を考慮した窓システムの耐風性能評価

強風災害リスク評価に用いる「窓ガラス」の耐力情報取得のために、動的風荷重装置 PLA を用いた実物大実験、および窓ガラスの破壊風圧を予測するシミュレーションを用いて、窓ガラスの耐力評価を行った。実物大実験においては、一般的に用いられる板ガラス端部がガasketなどにより弾性支持された試験体を用い、速度の異なる2種類の漸増荷重および時々刻々と変動する実変動風圧を載荷して行い、ガラスの静的疲労現象を実験的に確認した。その実験結果に基づき、破壊風圧を予測する数値シミュレーションの妥当性検証を行った。その結果として、弾性支持された板ガラスを対象としても、数値シミュレーションは実験結果を良く再現することが出来た。妥当性を検証した数値シミュレーションを用いて、板ガラスの強度評価を行った。まず、支持条件の違いが強度に与える影響を検証し、今回設定した弾性支持状態モデルと単純支持状態では大きな差は見られず、最大でも4%程度の差であることが明らかとなった。続いて、ガラスの面積・厚さ・アスペクト比を種々に変えて、我が国で用いられている窓ガラスの耐風性能算定式である建設省告示1458号から計算される耐力値との比較を行った(図1(a),(b))。その結果、告示値はガラスの耐力を過大評価している可能性が示唆され、特にガラス面積やアスペクト比の変化に対する耐力値への影響は大きいことが明らかとなった。リスク評価の際に用いる耐力情報としては、以上の数値シミュレーションから得られたガラスの静的疲労を考慮した値を用いることで、より実現象に即した評価が可能となった。

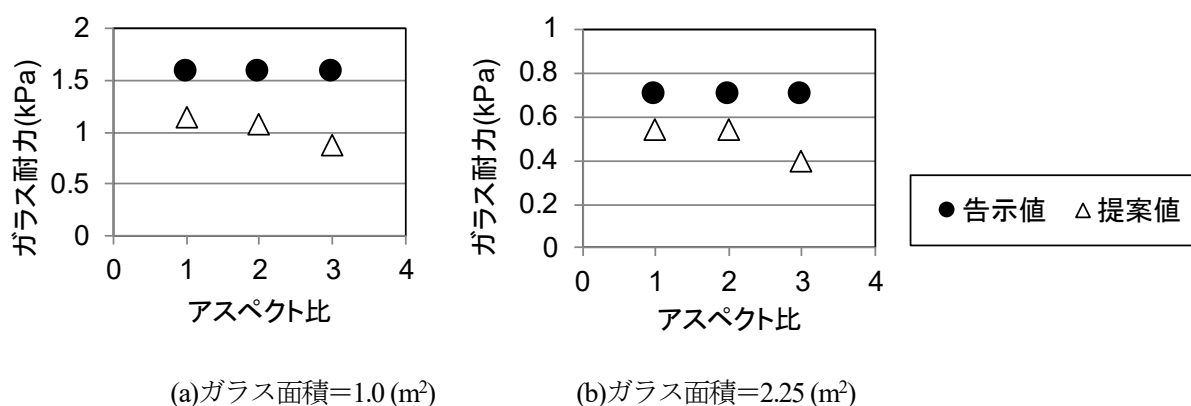


図1 告示値と提案値におけるアスペクト比の変化とガラス耐力値の関係

第3章 小屋組接合部(垂木-軒桁接合部)の耐力評価

強風災害リスク評価に用いる「小屋組接合部」の耐力情報取得のために、軸組工法住宅の「垂木-軒桁接合部」を対象とした実物大実験を行った。試験においては、試験体の屋根勾配を変化させて製作した垂木-軒桁接合部を試験体として用いた耐力試験を行い、部材構成や載荷速度の違いが接合部の耐風性能に及ぼす影響について次のように明らかにした。屋根勾配の影響としては、高勾配よりも低勾配の方が最大耐力は向上するという結果が得られた。その要因は、垂木に打った釘の端空き距離の違いによって生じた破壊性状の違いによると推察される。屋根勾配が大きい場合には、金物に用いている釘の位置が垂木端部に近い為、図2のような割裂破壊が生じやすくなり、耐力が低下することが明らかとなった。載荷速度の影響としては、載荷速度がある程度速い場合には、最大耐力への影響は確認されなかったが、載荷速度が遅い場合には耐力の低下が見られた。一般的に載荷速度が低い場合には破壊荷重が小さくなると考えられるため、今回用いたような実際の風荷重よりも遅い荷重速度で載荷して得られた耐力値は安全側評価として用いることが出来ると考えられる。

また、上記の結果は「木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-、日本建築学会(2006年)」に示される、木材の割裂破壊の終局耐力式から計算される値と概ね同等の値を示していることを明らかにし、本論文において対象とした接合部の構成条件であれば、本式を用いることで様々な屋根勾配や材種に応じた耐力値が算出できることを示した。



図2 割裂破壊を生じた試験体

第4章 瞬間的な開口発生時の内圧の評価の為の風洞実験

開口を瞬間的に発生させることのできる模型を用いた風洞実験により、内外圧の同時測定を行い、瞬間的な開口発生時の内圧変動に加え、開口が屋根面や壁面に作用する風力に及ぼす影響を検討した。特に「開口面積」、「風速」に着目し、検討を行った。風速の異なるケースの実験より、低風速の場合には開口開放直後に顕著な過渡振動(Helmholtz共鳴)を生じ、非常に大きな内圧が発生するが、高風速時には過渡振動は生じず、内圧は開口部付近の外圧と同様に変動することを実験的に示した。また、開口部の大きさについては、小開口に比べて大開口の場合には内圧変動の周波数帯におけるパワースペクトルのピークが大きく、内圧の過渡振動の大きさや継続時間に影響を与えることが実験的に示された。前述の内圧の過渡振動により、開口開放直後には各部位に作用する外圧と合わせ、大きなピーク風力が生じる可能性があるが、住宅のような小規模な建物を対象とした場合には、これらの現象は特に低風速の場合にのみ生じる為、強風災害時には内圧の変動は開口部付近の外圧と同等とみなして良いと考えられる。以上の影響を系統的に整理し、リスク評価に用いる外力情報として利用した。

第5章 被害の進行過程を考慮した強風災害リスク評価手法の提案

第2章、第3章で得られた窓ガラス及び小屋組の耐力情報、第4章の風洞実験で得られた外圧及び開口が瞬間

的に発生した場合の内圧の外力情報を基とした強風災害リスク評価手法の提案を行った。リスク評価の手順としては、対象建物が建つ位置(地表面粗度区分、周辺状況)や建物そのものの情報(築年数、窓の数、建物形状)などを任意に与え、強風災害を模擬した風速の時刻歴と、風洞実験から得られた各建物の形状に応じた内外圧の風圧係数から計算される各部位に作用する風圧力を用いて各部材の破壊判定を行った。各部材の耐力情報は、確率分布として与えており、モンテカルロシミュレーションにより建物の被害進行の度合いを各部材の破壊確率を基として算出し、コストモデルを掛け合わせることでリスク評価とする。また、リスク評価を行うにあたり用いる風速の時刻歴は、任意の地域における地表面粗度区分、平均風速、パワースペクトルを持つ風速時刻歴をモンテカルロシミュレーションにより発生させる。この手法により、平均風速の異なる複数の風速時刻歴を発生させ、その平均風速毎のリスク評価を行うことで、風速毎の被害率を示す脆弱性曲線の描画を可能である。

第6章 コストモデルを用いた期待損失額の試算

第5章で提案した強風災害リスク評価手法と、住宅建設を行う工務店へのヒアリングを基に作成したコストモデルを用いて、条件を様々に設定した場合の期待損失額の試算を行い、建物条件の違いが期待損失額に与える影響について検討を行った。本リスク評価手法の結果は、図3、図4に示すような各部材の破壊確率や損失期待額によって示される。リスク評価の入力条件を種々に変え、図のような結果として出力されることで、各種対策の効果をリスクの大きさとして得ることが可能となった。

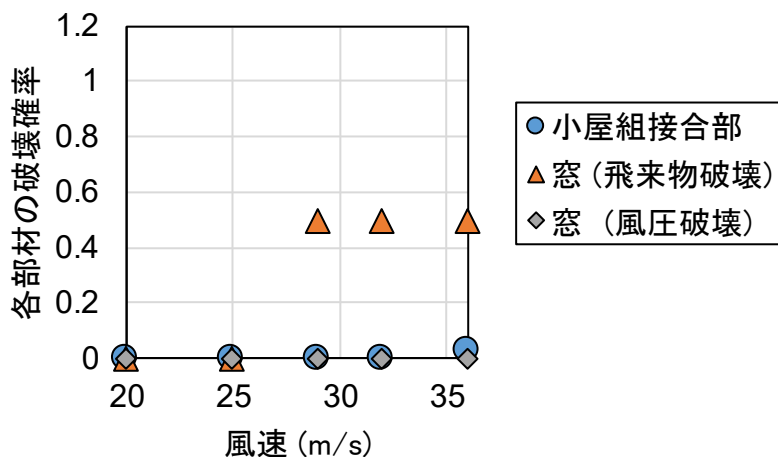


図3 各部材の破壊確率と風速の関係(脆弱性曲線)

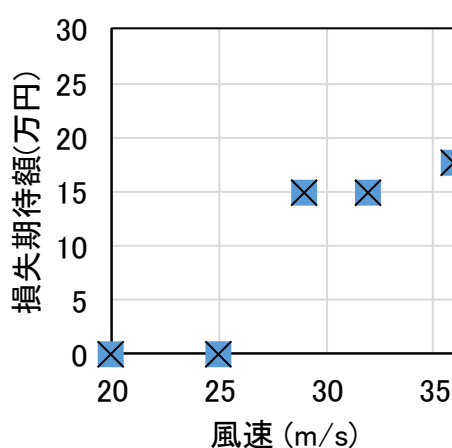


図4 損失期待額と風速の関係

第7章 結論

本論文における主な結論をまとめた。実物大実験や数値シミュレーションに基づく耐力モデルと、風洞実験に基づく外力モデルを用いることで、各部材の被害の進行を考慮したリスク評価手法を開発した。今後の展望としては、耐力モデルの拡張を行うことで、異なる被害のシナリオに対しても適用可能であると考えられ、様々な強風被害に対するリスクの明示が可能となると考えられる。

論文審査結果の要旨

台風や竜巻等の強風災害時には低層住宅に多くの被害が生じており、特に木造住宅の被害が甚大である。風圧や飛来物の衝突による開口部の破壊が原因で内圧が上昇し、構造骨組の損傷に至るというように、被害が連鎖的に生じることが多い。本研究は、木造住宅の各部材耐力や作用外力を定量的に評価し、上述のような被害の進行過程を考慮したリスク評価手法を構築したものであり、全7章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、窓ガラスの耐力について述べられている。実変動風荷重を用いた実物大耐力試験と、破壊風圧を予測する数値シミュレーションに基づき、ガラスの静的疲労を考慮した耐力の算定方法を提案した。その結果を我が国で用いられている窓ガラスの耐風性能算定式から計算される耐力値と比較した結果、告示はガラスの耐力を過大評価している可能性があること、並びに、ガラス面積やアスペクト比が耐力値に及ぼす影響が大きいことを明らかにした。

第3章では、木造住宅の垂木-軒桁接合部の耐力について述べられている。軸組工法住宅の垂木-軒桁接合部を対象とした実物大実験を行い、部材構成や載荷速度の違いが接合部の耐力に及ぼす影響を明らかにした。また、その結果は木質構造設計基準に示されている木材の割裂破壊の終局耐力式から計算される値と概ね同等であることを明らかにし、本論文において対象としている接合部の構成条件であれば、基準式を用いることで様々な屋根勾配や材種に応じた耐力値が算出できることを示した。

第4章では、開口を瞬間的に発生させることのできる模型を用いた風洞実験により内外圧の同時測定を行い、瞬間的な開口発生時の内圧変動に加え、開口が屋根面や壁面に作用する風力に及ぼす影響を明らかにした。

第5章では、第2章および第3章で得られた窓ガラス並びに小屋組の耐力に関する情報、第4章の風洞実験で得られた外圧及び開口が瞬間的に発生した場合の内圧に関する情報を基とした強風災害リスク評価手法を提案した。対象建物の建設地（地表面粗度区分、周辺状況）や建物の情報（築年数、窓の数、建物形状）を与え、模擬した風速の時刻歴と建物形状に応じた内外圧係数から計算される風力に基づいてリスク評価を行うことで、個々の建物に対して風速毎の被害率を示す脆弱性曲線を求めることが可能となった。

第6章では、第5章で提案した強風災害リスク評価手法と、木造住宅の各部位の修繕に係るコストモデルを用いて、建物条件を様々に設定した場合の期待損失額の試算を行い、建物条件の違いが期待損失額に与える影響を検討した。本リスク評価手法の結果は各部材の破壊確率や損失期待額によって示される。リスク評価の入力条件を変えることで、各種対策の効果をリスクの大きさとして示すことが可能となり、耐風診断としての枠組を提案した。

第7章は結論である。

以上、要するに本論文は、積雪寒冷地における木造住宅を対象とし、「開口部破壊⇒内圧上昇⇒垂木-軒桁接合部破壊」という被害のシナリオを考慮した強風災害リスク評価手法を、耐力試験や数値シミュレーション、風洞実験に基づいた耐力・外力情報に基づいて構築し、その活用法を提案したものであり、木造住宅の強風災害リスク評価と強風被害低減に寄与するものと期待される。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。